



Les mines des Beni Bou Ifrou-Ouixane (Rif Oriental) : un district ferrugineux néogène de type skarns The Beni Bou Ifrou-Ouixane mines (Eastern Rif), Neogene Skarn Type Iron Deposits

Mohammed Bouabdellah, Noémie Lebreton, Eric Marcoux, Mohamed Sadequi

► To cite this version:

Mohammed Bouabdellah, Noémie Lebreton, Eric Marcoux, Mohamed Sadequi. Les mines des Beni Bou Ifrou-Ouixane (Rif Oriental) : un district ferrugineux néogène de type skarns The Beni Bou Ifrou-Ouixane mines (Eastern Rif), Neogene Skarn Type Iron Deposits. A. A. Chalouan, E. Rjmati and A. MouttaqiMichard, O. Saddiqi,. Nouveaux Guides Géologiques et miniers du Maroc, Notes et mémoires du Service géologique du Maroc, pp.357-362, 2012, Notes et mémoires N° 564 du Service géologique du Maroc- 2011. insu-00812110

HAL Id: insu-00812110

<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00812110>

Submitted on 11 Apr 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

10.2- Les mines des Beni Bou Ifrou-Ouixane (Rif Oriental) : un district ferrugineux néogène de type skarns /

The Beni Bou Ifrou-Ouixane mines (Eastern Rif), Neogene Skarn Type Iron Deposits

M. BOUABDELLAH¹, N. LEBRET², E. MARCOUX² & M. SADEQUI⁴

Points clés : District ferrugineux de type skarns, encaissé dans des alternances de schistes et calcaires dolomitiques et gréseux du Jurassique supérieur-Crétacé, avec les gisements de Ouixane, Axara-Imnassen et Bokoya-Setolazar. Minéralisations par remplacement pyrometasomatique des protolithes carbonatés en relation avec la montée d'intrusions dioritiques d'âge miocène. Les altérations métasomatiques progrades et rétrogrades ont donné lieu à des paragenèses minérales calco-silicatées complexes. Les données des inclusions fluides et des isotopes d'oxygène reflètent la présence d'un fluide en ébullition responsable de la mise en place, à haute température, des minéralisations ferrugineuses du stade prograde. Le fluide magmatique, hautement salin, se mélange avec un deuxième fluide de type météorique précipitant les minéralisations ferrugineuses du stade rétrograde et les paragenèses tardives à sulfures.

Highlights : The Ouixane iron skarn-type district is hosted in an Upper Jurassic-Cretaceous metasedimentary sequence composed of interbedded schists, carbonates and sandstones. The main exploited deposits are Ouixane, Axara-Imnassen and Bokoya-Setolazar. Mineralization occurs as pyrometasomatic replacement of carbonate protoliths related to Miocene porphyritic diorite intrusions, which hydrothermally altered the host rocks giving rise to a calc-silicate metasomatic assemblage. Fluid inclusion and oxygen isotope data reflect the presence of a boiling fluid associated with the deposition of the prograde stage of the iron mineralization at relatively high temperature. Later in the paragenetic sequence, the highly saline, boiling fluid mixed with meteoric fluid resulting in the precipitation of the retrograde iron stage and associated late sulphides.

Localisation : Le district de fer de Ouixane (Wiksane, Ouichane) est situé à l'extrémité nord du massif des Beni Bou Ifrou, à une dizaine de kilomètres au SSW du port de Nador (fig. 10.2.1 A). Les coordonnées GPS des gîtes principaux sont les suivantes : Ouixane N35°07'29",

¹ Laboratoire des Gîtes Minéraux, Hydrogéologie & Environnement, Faculté des Sciences, Oujda 60000, Maroc. E-mail: mbouabdelilah2002@yahoo.fr

² UMR 7327, Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), Université d'Orléans, B P 6749, Orléans Cedex 2, France

³ UFR Pétrologie, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, BP 1796 Atlas-Fès, Fès, Maroc

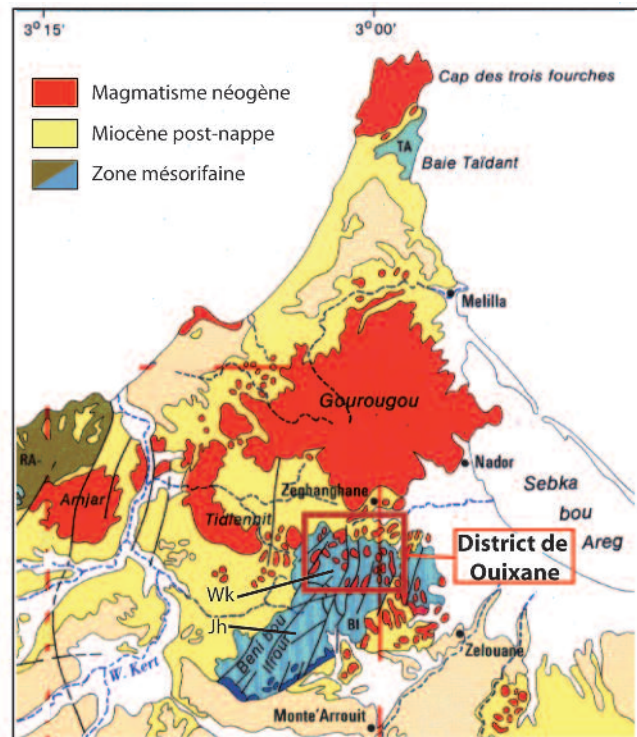


FIG. 10.2.1 : Localisation du district ferrifère de Ouixane (Massif des Beni Bou Ifrou) sur la carte routière Michelin au 1/1 000 000 (A) et sur la carte structurale schématique de la région (B, d'après Faure-Muret, 1996).

FIG 10.2.1 : Location of the Ouixane iron district (Beni Bou Ifrou massif) on the Michelin road map (A) and on the geological structural map of the area (B, after Faure-Muret, 1996).

W3°01'27"; Axara-Imnassen N35°07'09", W3°01'11"; Bokoya-Setolazar N35°06'53"; W3°00'44".

Substance exploitée : Fer, principalement sous forme d'oxydes (magnétite, hématite), sulfures (pyrite, pyrrhotite) et carbonates (sidérite, ankérite).

Etat et historique : Prospectés durant la période 1905-1907, puis mis en exploitation en 1914 par la Compagnie Espagnole des Mines du Rif (CEMR), les gisements de fer du district de Ouixane (Massif des Beni Bou Ifrou, Rif oriental) s'étendent sur une superficie globale de 36 km². Le district comprend plusieurs gisements, d'intérêt économique inégal, dont les plus productifs sont ceux de Ouixane, Axara-Imnassen et Bokoya-Setolazar (fig. 10.2.2). Les données de production disponibles citées par plusieurs auteurs, dont Viland (1966), montrent que durant la période 1915-1951, l'ensemble des mines du district ont produit environ 24 Mt de minerai de fer dont 19 Mt de minerai oxydé et 5 Mt de minerai pyriteux. En 1967, le gouvernement marocain, encouragé par les fortes réserves estimées par les experts espagnols (100 Mt dont 23 Mt de tonnes certaines ou probables), décida de reprendre les rênes en main en créant la société SEFERIF dont la gestion fut confiée au Bureau de Recherches et de Participations Minières (BRPM, actuel ONHYM). Le BRPM lança une campagne de couverture aéromagnétique assistée au sol d'un programme de forage. Les nouvelles estimations de réserves, revues à la baisse, ne seraient que de 26,4 Mt de minerais de fer dont 17 Mt certifiées, à des teneurs moyennes en fer de 37.5% et 4% soufre. La compilation des données de production couvrant la période 1915 jusqu'à la fermeture des mines en 1976 mon-

trent que l'ensemble des mines du district auraient produit plus de 60 Mt de minerais à des teneurs moyennes en fer variant de 45 à 60%. En incluant les teneurs en fer inférieures à 40%, les ressources potentielles du district de Ouixane seraient de l'ordre de 46 Mt (Anonyme, 1985).

Cadre géologique régional : Les gîtes de fer du district de Ouixane sont dispersés dans le massif mésorifain des Beni Bou Ifrou (fig. 10.2.1B). Les premières descriptions géologiques remontent aux années 60-70 et sont l'œuvre de Jeannette et Hamel (1961), Rhoden et Ereno (1962) et Viland (1977). Depuis lors, toute une série de travaux ont vu le jour, conduisant à une meilleure caractérisation de l'environnement géologique (Frizon de Lamotte, 1985 ; Kerchaoui, 1985 ; Faure-Muret, 1996), pétrographique (Hernandez & Bellon, 1985) et géochimique (Kerchaoui, 2004 ; Duggen *et al.*, 2005 ; Jabrane, 1993) des minéralisations ferrugineuses du district. Le massif des Beni Bou Ifrou est subdivisé en deux unités distinctes, de surfaces à peu près équivalentes : (1) l'unité de Ouixane au nord (Wk, fig. 10.2.1B), caractérisée par une sédimentation carbonatée au Jurassique supérieur et détritique avec intercalations de roches volcano-sédimentaires au Berriasien, et (2) l'unité du Jbel Harcha au sud (Jh), caractérisée par une sédimentation carbonatée à la base (Lias), se terminant par un Miocène calcarénitique à olistolithes (Kerchaoui, 1985). C'est à l'unité de Ouixane que se rattachent tous les gisements exploités. Les séries encaissantes de Ouixane sont truffées d'un cortège de roches magmatiques, tant intrusives qu'extrusives (fig. 10.2.3), mises en place entre 9 et 3.73 Ma (Bellon & Brousse, 1977 ; Hernandez & Bellon, 1985 ; El



FIG. 10.2.2 : Répartition des principaux gisements de type skarn du district ferrugineux de Ouixane à partir d'une vue satellitaire (Google Earth 2009).

FIG. 10.2.2 : Spatial distribution of the main exploited skarn-type deposits of the Ouixane district in a satellite view (Google Earth 2009).

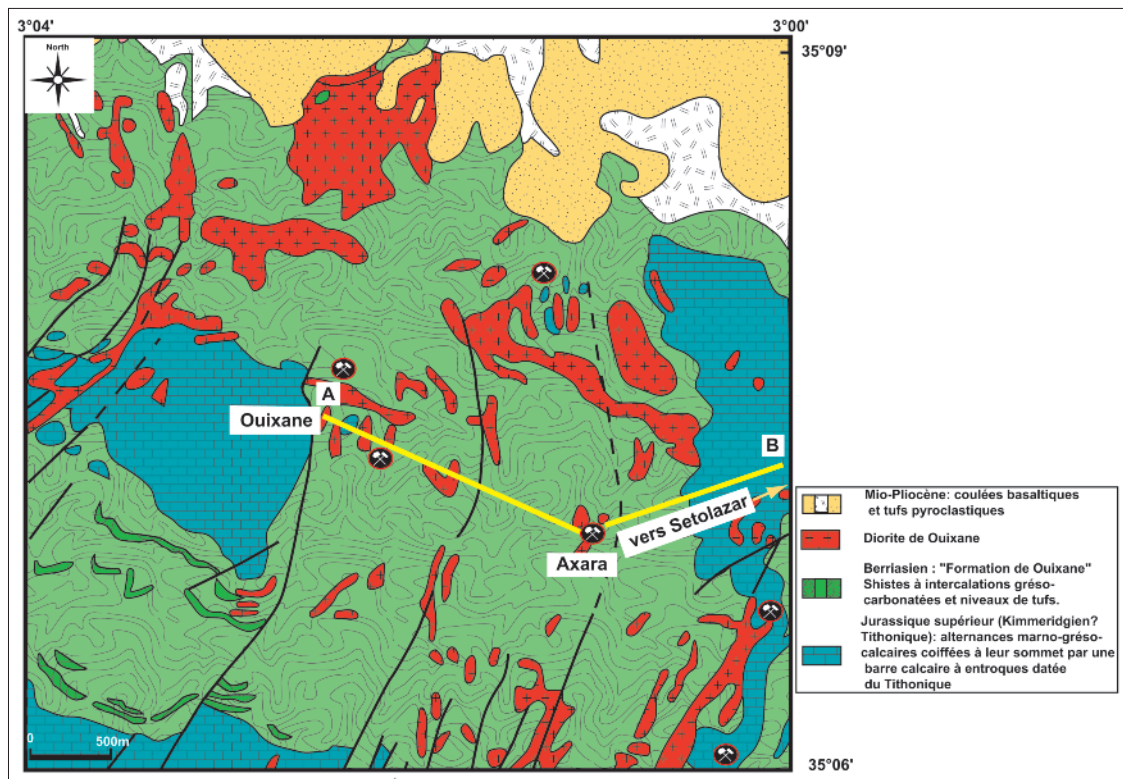


Fig. 10.2.3 : Carte géologique du massif des Beni Bou Ifrouir montrant la distribution des principaux gisements du district de Ouxiane d'après la Carte géologique du Maroc au 1/50 000, feuille de Zeghanghane (Faure-Muret, 1996). Ligne A-B : coupe fig. 10.2.5.

Fig. 10.2.3 : Geological map of the Beni Bou Ifrouir massif showing the spatial distribution of the main deposits of the Ouxiane district (after the Zeghanghane sheet at 1/50 000). A-B is the trace of cross-section fig. 10.2.5.

Bakkali *et al.*, 1998 ; Roger *et al.*, 2000 ; Duggen *et al.*, 2005), de composition et de chimisme variés (basaltes, trachyandésites, andésites, trachybasaltes et diorites à affinité calco-alcaline fortement potassique, voire shoshonitique). La mise en place de ce cortège de roches magmatiques à caractère plus ou moins porphyrique a induit au niveau des roches encaissantes, particulièrement dans les protolithes carbonatés et grésocarbonatés, de profondes transformations métasomatiques auxquelles sont liées les minéralisations du district de Ouxiane.

Les gisements exploités

Gisement de Ouxiane

Par sa production en minerais de fer dépassant 1 Mt et ses fortes teneurs en fer (70%), le gisement de Ouxiane (fig. 10.2.4) est considéré comme le plus riche de l'ensemble des gîtes du district. Il recèle également l'une des plus fortes réserves reconnues (3,1 Mt de minerais moyennant 60.64% Fe ; Anonyme, 1985). Le gisement a été exploité à ciel ouvert dans deux carrières principales est et ouest séparées par la faille de Ouxiane. Les méthodes d'exploitation utilisées sont de type "chambres et piliers" et "gloryholes". La série stratigraphique encaissante, épaisse d'environ 200 m, est

constituée d'une alternance régulière de termes schisteux à intercalations de lentilles grésocalcaro-dolomitiques du Malm et de niveaux de tufs acides et basiques, reposant en contact anormal sur les schistes argentés du Néocomien (Jeannette, 1961) et surmontés de calcaires à entroques, de schistes et de grès du Berriasien moyen. De nombreuses intrusions de diorite à caractère plus ou moins porphyrique, transpercent les faciès encaissants induisant à leurs contacts des halos d'altérations métasomatiques. La plus importante de ces intrusions est représentée par la "diorite de Ouxiane et ses satellites" datée à 7.58 ± 0.03 Ma (Duggen *et al.*, 2005) et dont l'étude pétrologique montre qu'elle est d'origine mantellique, d'affinité calco-alcaline et mise en place à 700-750°C sous une pression de 0,8 à 2,7 kbar (Jabrane, 1993). Au métamorphisme régional de type schistes verts se superpose, au voisinage des corps intrusifs, un métamorphisme de contact isochimique (cornéennes et marbres de Ouxiane) et métasomatique, celui-ci à l'origine des skarns minéralisés de Ouxiane. La structuration précoce (anté-intrusions) des roches encaissantes est caractérisée par deux schistosités pénétratives, schistosité de type flux (S_1 parallèle à S_0) et de crénulation (S_2), et par un système d'écaillés déversées vers le sud (Frizon de Lamotte, 1985 ; Kerchaoui, 1985). Les structures tectoniques post-intrusions sont re-

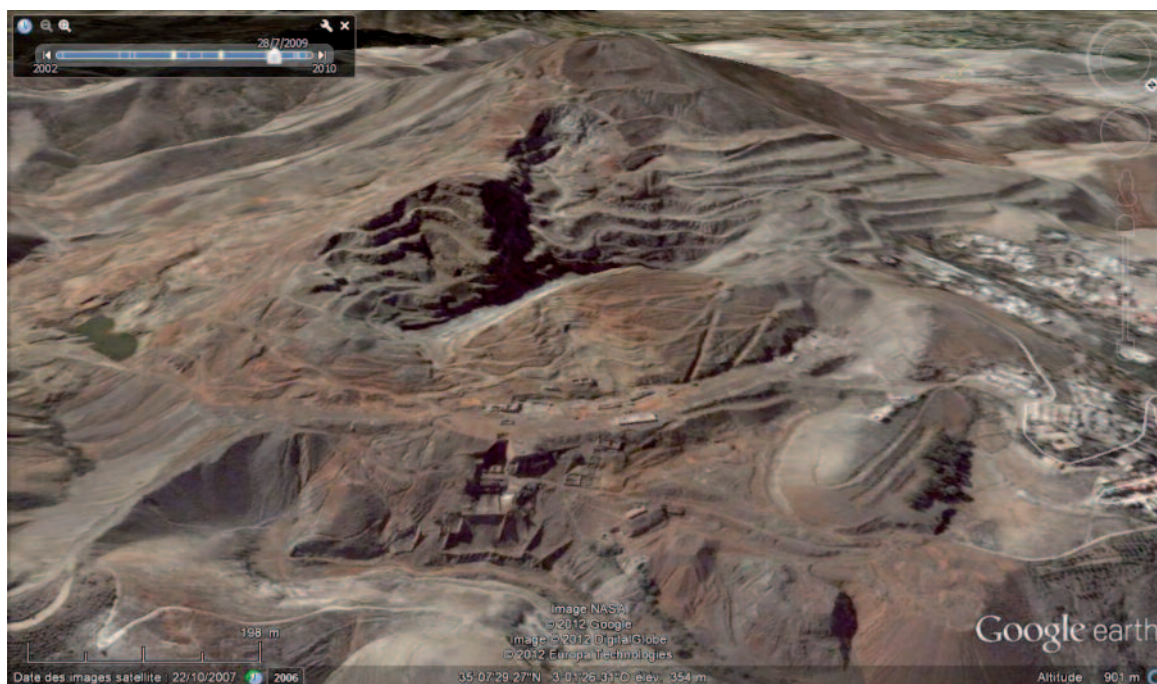


FIG. 10.2.4 : Vue satellitaire zoomée et basculée (Google Earth) des carrières de Ouixane. L'emplacement des concasseurs est visible au premier plan.

Fig. 10.2.4 : Satellite view (Google Earth) tilted and zoomed on the Ouixane quarries. Notice the rock crusher emplacement in the foreground.

présentées par, **i)** la grande faille N-S à jeu décrochant sénestre de Ouixane ; et **ii)** des failles normales et sénestres de direction N-S à NE-SW, E-W à NW-SE.

La minéralisation ferrugineuse, en remplacement pyrométasomatique des protolithes calcaro-dolomitiques ou en remplissage de stockwerk, se présente soit sous forme d'amas lenticulaires (minerai massif) soit encore sous forme d'un réseau anastomosé de veines et de veinules d'extension métrique. La paragenèse minérale primaire est constituée à plus de 90 % d'oxydes (magnétite, hématite) et à un degré moindre (<10 %) de sulfures (pyrite, pyrrhotite, sphalérite, chalcopryrite et bornite). Les minéraux de gangue sont constitués par toute une panoplie de phases minérales calco-silicatées (grenats, pyroxènes, amphiboles, micas, épidotes, scapolites, quartz, calcite et barytine) typiques des gisements de type skarn.

Gisements d'Axara-Imnassen

Le gisement d'Axara (fig. 10.2.5) et son extension en profondeur représentée par le gisement d'Imnassen, exploités respectivement à ciel ouvert et à des profondeurs de l'ordre de 25 m, recèlent les plus importantes réserves de tout le district (6,7 Mt) mais de faible teneur (52,5 % Fe) et de moindre qualité (4,4 % S). La teneur en sulfures (pyrite/pyrrhotite) atteint localement 20%. Les concentrations ferrugineuses d'Axara ont été exploitées le long de 4 gradins dans une carrière de 300 m de diamètre et 100 m de profondeur. La méthode d'exploitation se faisait par abattage entre sous-niveaux ("Sub-level stopping"). La colonne lithostratigra-

phique type montre la succession de termes schisteux à intercalations de lentilles calcaro-dolomitiques attribués au Néocomien, alternant régulièrement avec des tufs pyroclastiques acides (rhyolitiques) et basiques. La puissance des lentilles calcaires peut dépasser 40 m. Un essaim d'intrusions sub-volcaniques de composition dioritique, dont la mise en place serait polyphasée, recoupe les différents termes de la série encaissante en induisant d'importantes altérations métasomatiques auxquelles les minéralisations sont associées.

Les principales structures tectoniques sont représentées par, **i)** des plis d'axe N-S à NNE, déversés vers l'ouest et accompagnés d'une schistosité de flux, et **ii)** une série de grandes failles listriques dont la mise en place serait reliée au déplacement des nappes rifaines (Frizon de La motte, 1985 ; Kerchaoui, 1985), et de failles subverticales de direction N-S, ENE et ESE à jeux décrochants dextres ou sénestres. Comme à Ouixane, au voisinage des corps intrusifs se développent un métamorphisme thermique et des phénomènes métasomatiques à l'origine des corps minéralisés. La minéralisation est de type stratiforme, donnant lieu à un minerai rubané caractérisé par une alternance régulière de bancs ferruginisés et de bancs stériles. La paragenèse minérale primaire est constituée de magnétite et d'hématite auxquelles s'ajoutent, localement en quantités fort importantes (10-15 %), des sulfures (pyrite, pyrrhotite, marcasite, chalcopryrite, bornite).

Gisements de Bokoya-Setolazar

En comparaison avec les gisements précédents, le gisement

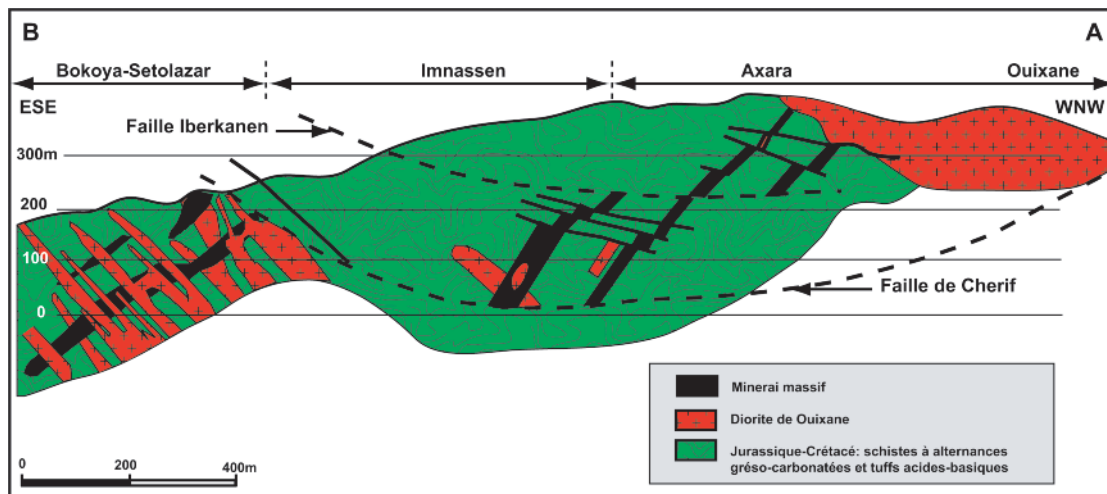


Fig. 10.2.5 : Coupe WNW-ESE montrant les principaux gisements du district de Ouixane et leur relation avec les principales failles listriques.
Localisation : voir fig. 10.2.3.

Fig. 10.2.5 : Generalized WNW-ESE section across the main deposits of the Ouixane district showing their relationship to the major listric faults.
See fig. 10.2.3 for location.

à ciel ouvert des Bokoya (à ne pas confondre avec le massif des Bokoyas d'Al Hoceima) et son extension en profondeur de Setolazar se distinguent par la qualité médiocre de leur minerai à faible teneur en fer (35-55%) et fort enrichissement en soufre (4 à 5%) et en silice (30%). Le gisement de Bokoya a été exploité le long de 8 gradins selon la méthode d'exploitation de type chambres et piliers.

La série encaissante consiste en une succession monoclinale à pendage de 30° à 40°E constituée d'une alternance régulière de termes schisteux à intercalations de lentilles carbonatées et de rares niveaux pyroclastiques de tufs acides, et coiffée par une barre de calcaire massif à entroques du Barrémien. L'ensemble des termes de la série, truffés d'intrusions plus ou moins porphyriques de microdiorites (fig. 10.2.5), est affecté par des plis majeurs synschisteux P_1 d'axe N-S, déversés vers l'ouest et repris par des plis P_2 d'axe NNE-SSW à déversement ESE, ainsi que par des failles N-S et N130-N150. La minéralisation stratiforme se présente sous une forme rubanée par une alternance de niveaux ferrugineux et de niveaux stériles constitués des termes schisteux. La paragenèse minérale est formée de magnétite et d'hématite, sur lesquelles se greffent une paragenèse sulfurée constituée de pyrite, pyrrhotite, marcassite, sphalérite et chalcopryrite.

Altérations hydrothermales et paragenèses métasomatiques : La mise en place du cortège intrusif de Ouixane s'est accompagnée du développement d'importants halos d'altération hydrothermale affectant aussi bien les corps intrusifs (endoskarns) que leurs encaissants à protolithes carbonatés et grés-carbonatés (exoskarns). Les minéraux calco-silicatés qui en sont issus sont reliés à deux phases d'altération hydrothermale, qualifiées de prograde et de

rétrograde. Les assemblages minéralogiques de la phase prograde, localisés au voisinage immédiat des corps intrusifs, sont représentés par des minéraux anhydres de haute température (>500°-350°C) dont le grenat de type andradite et le clinopyroxène de composition diopside-hedenbergite associés à la magnétite 1 (Jabrane, 1993 ; Bouabdellah, inédit). Quant aux altérations rétrogrades, elles interviennent à de plus basses températures au cours du refroidissement progressif du système hydrothermal et de son invasion par l'eau météorique. Les assemblages minéralogiques qui en sont issus, regroupés en différents stades, sont constitués de phases minérales hydratées dont l'amphibole (ferro-hornblende), la chlorite (chamosite), la phlogopite, les épidotes (pistachite-clinozoïsite), la calcite, l'ankérite, la sidérite, le quartz et la barytine. C'est à ce stade rétrograde que se rattache la magnétite 2 et l'hématite de type oligiste.

Minéralogie : La paragenèse minérale primaire est dominée par les oxydes (magnétite, hématite) et les hydroxydes de fer (goethite) auxquels s'ajoutent localement d'importantes quantités de sulfures (pyrite, pyrrhotite, marcassite, sphalérite, chalcopryrite, bornite, galène). Les minéraux de gangue sont représentés des minéraux calco-silicatés issus des phases d'altération hydrothermale prograde et rétrograde dont le grenat, le clinopyroxène, la hornblende, la phlogopite, la chlorite, les scapolites, les épidotes, la calcite, l'ankérite, la sidérite, la barytine et le quartz.

Modèles génétiques : L'étroite association spatiale entre le cortège d'intrusions dioritiques et les minéralisations ferrugineuses du district de Ouixane a amené bon nombre d'auteurs à voir dans une telle association une relation génétique (Heim, 1934 ; Rhoden et Ereno, 1962, Jabrane,

1993). La plupart des modèles génétiques proposés ont souligné le rôle déterminant des fluides magmatiques et/ou hydrothermaux issus des intrusions porphyriques dans la genèse de ces minéralisations. A ce propos, des datations récentes K-Ar (El Rhazi & Hayashi, 2002) effectuées aussi bien sur des cristaux de biotite de la diorite de Ouixane ($8,02 \pm 0,22$ Ma) que sur roche totale d'un échantillon de skarn ($7,04 \pm 0,47$ Ma) montrent encore une fois le cogénéisme entre les intrusions dioritiques et les minéralisations ferrugineuses associées. En complément au modèle magmatique, Duflo et al. (1984) proposent un modèle où le fer serait d'origine volcanosédimentaire avec une contribution hydrothermale (Delizaur, 1952).

En outre, les récentes données des inclusions fluides (Jabrane, 1993, El Rhazi & Hayashi, 2002 ; Bouabdellah, inédit) et des isotopes d'oxygène (El Rhazi & Hayashi, 2002) montrent que les fluides minéralisateurs responsables de la précipitation de la magnétite 1 associée à la phase prograde correspondent à des fluides magmatiques chauds ($>500^{\circ}\text{C}$) et hautement salins (61% poids équivalent NaCl) qui se seraient exsolvés (exudés) à partir du magma granodioritique parent grâce au phénomène d'ébullition. La coexistence d'inclusions fluides carbonés (i.e., riches en CO_2) et aqueuses (i.e., riches en H_2O) au même titre que la présence de la calcite silicifiée "platy calcite" constituent autant d'arguments en faveur de l'ébullition. Au cours des stades tardifs reliés à la phase rétrograde, on assiste à une décroissance régulière aussi bien des conditions de température ($<250^{\circ}\text{C}$) que des salinités correspondantes ($\sim 15\%$ poids équivalent NaCl) qui s'expliqueraient par l'effondrement du système hydrothermal et son envahissement par les eaux météoriques de surface. Le mélange entre le fluide magmatique hautement salin issu de l'ébullition et les fluides météoriques causerait la précipitation des assemblages minéralogiques reliés à la phase rétrograde hydratée (magnétite 2 et assemblages sulfurés associés).

Références

- Anonyme (1985) : Les gisements de fer du Rif Oriental (Nador) : synthèse géologique et évaluation des réserves. Document interne SEFERIF, 69 p.
- BELLON H. & BROUSSE R. (1977) : Le magmatisme péri méditerranéen occidental. Essai de synthèse. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, 469-480.
- DELIZAUR J. (1952) : Gîte de fer des Kelaia. *19^{ème} Cong. Géol. Int. Alger.*, Livret-Guide n°7, série Maroc, 24-27.
- DUFLOT H., JEZEQUEL P., ROMAN BERNAL A. (1984) : Le gisement de fer de Nador (Zone rifaine, Maroc) : nouvelles observations géologiques. Rapport inédit Option Géol. min., ENSM, Paris, 101 p.
- DUGGEN S., HOERNLE K., VAN DEN BOGAARD P., GARBE-SCHÖNBERG D. (2005): Post-collisional transition from subduction- to intraplate-type magmatism in the Westernmost Mediterranean: evidence for continental-edge delamination of subcontinental lithosphere. *J. Petrol.*, 46, 1155-1201.
- EL BAKKALI S., GOURGAUD A., BOURDIER J-L., BELLON H. & GUNDOGDU N. (1998) : Post-collision Neogene volcanism of the eastern Rif (Morocco) : magmatic evolution through time. *Lithos*, 45, 523-543.
- EL RHAZI, M. & HAYASHI K. (2002) : Mineralogy, Geochemistry, and age constraints on the Beni Bou Ifrouir skarn type magnetite deposit, Northeastern Morocco. *Geology*, 30, 25-29.
- FAURE-MURET A. (1996) : Carte géologique du Maroc au 1/50 000, feuille de Zeghanghane. *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, n° 370.
- FRIZON DE LAMOTTE D. (1985) : La structure du Rif Oriental (Maroc). Rôle de la tectonique longitudinale et rôle des fluides. Thèse Doct. Etat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- HEIM A. (1934) : The iron mines del Rif, Morocco. *Econ. Geol.*, 29, 294-300.
- HERNANDEZ J. & BELLON H. (1985) : Chronologie K-Ar du volcanisme miocène du Rif oriental (Maroc) : implications tectoniques et magmatique. *Rev. Géol. dyn. Géogr. Phys.*, 26, 85-94.
- JABRANE R. (1993): Etudes génétiques de la minéralisation en fer de Nador (Maroc nord oriental). PhD thesis Univ. Libre Bruxelles, 566 p.
- JEANNETTE A. (1958) : Aperçu sommaire sur la géologie et les gisements de fer et de plomb d'Afra (Région de Nador). Rapport S.E.G.M Rabat, n° 610, 22 p.
- JEANNETTE A. & HAMEL C. (1961) : Présentation géologique et structurale du Rif Oriental. *Mines et Géologie, Rabat*, 14, 7-16.
- KERCHAOUI S. (1985) : Etude géologique et structurale du massif des Beni Bou Ifrouir (Rif oriental, Maroc). Thèse 3^{ème} c. Univ. Paris Sud, Orsay, 193 p.
- KERCHAOUI S. (2004) : Pétrologie, géochimie et âges des roches magmatiques, leur place dans l'évolution structurale du massif des Beni Bou Ifrouir et du Rif oriental, Maroc. PhD. Thesis Univ. Laval, Québec, Canada, 792 p.
- RHODEN NH. & ERENO I. (1961) : Magnetite ores of Northern Morocco. *Trans. Inst. Mining Metal.*, 71, 629-661.
- ROGER S., MÜNCH P., CORNÉE J.J., SAINT MARTIN JP., FERAUD G., PESTREA S., CONESA G. & BEN MOUSSA A. (2000) : $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the pre-evaporitic Messinian marine sequences of the Melilla basin (Morocco): a proposal for some biosedimentary events as isochrones around the Alboran sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 179, 101-113.
- VILAND J.C. (1966) : Etude pétrographique dans le Beni Bou Ifrouir, Maroc Nord oriental. Rapport inédit BRPM, Rabat, n°24, 102 p.
- VILAND J.C. (1977) : Les roches éruptives et métamorphiques associées, d'âge néogène, de la zone nord des Beni Bou Ifrouir. *Notes Serv. Géol. Maroc*, 37, n°267, 27-84.